

УДК 627.08

**Куприна Екатерина Максимовна**<sup>1</sup>, аспирант кафедры водных путей и гидротехнических сооружений

e-mail: k\_kuprina98@mail.ru

**Воронина Юлия Евгеньевна**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений

e-mail: yulez@yandex.ru

<sup>1</sup>Волжский государственный университет водного транспорта г. Нижний Новгород, Россия.

## ВЛИЯНИЕ КОНФИГУРАЦИЙ ОПОР НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ НЕПРАВИЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЙ

*Аннотация.* В статье приведено исследование влияния конфигураций опор на возникновение неправильных течений. В качестве примера влияния приводится 5 видов опор: массивные опоры с ледорезом; столбчатые опоры; сборно-монолитные опоры; опоры с оголовком и опоры с тонкими колоннами. Анализ результатов показал возможные изменения в поведении течений в районе различных мостовых переходов.

*Ключевые слова:* опоры моста, турбулентность, неправильные течения, статистика, струи, модель, течение, завихрение.

С развитием экономической структуры России, происходит все большее увеличение потребности в перевозках внутренним водным транспортом. Согласно данным за 2019 год грузооборот на ВВП составил 65,9 млрд т\*км, что превышает почти в 1,5 раза данные за 2010 год (54,0 млрд т\*км).

С постепенным ростом грузооборота неразрывно выросла интенсивность и плотность движения судов на километр. Увеличилось число расхождений, обгонов, а также других сложных маневров, и как следствие остро встал вопрос о повышении безопасности плавания и снижении аварийности на реках.

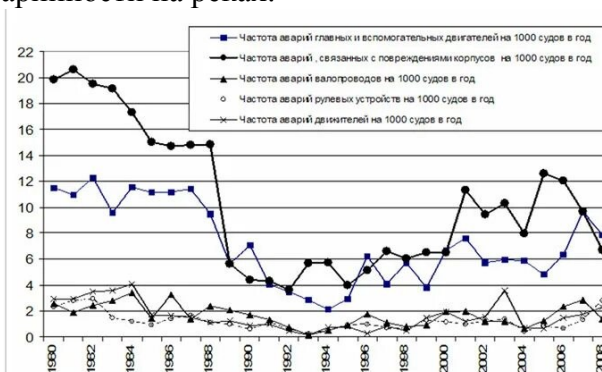


Рисунок 1 – Статистика аварий по годам и причинам

На данный период времени по статистике 44% аварий приходится на удар судна о гидротехническое сооружение (ГТС) или при столкновении судов. Чаще всего причиной этому является неопытность командного состава при прохождении через ГТС. Проходя через гидротехническое сооружение, судно ощущает на себе действие «неправильных течений», таких как затяжные, прижимные, своды или толчея.

Именно по этому главной задачей данной статьи является анализ неправильных течений, возникающих у опор мостов разной конфигурации, с целью прогнозирования поведения потока.

Работу опор в движущемся потоке условно можно разделить на три части. Первая часть (I) располагается выше створа мостового перехода. Здесь происходит постепенное отклонение потока в сторону свободной части русла. На этом участке скорости течения увеличиваются за счет устремления потока в свободную от опор область, а свободная поверхность воды уменьшается. Вторая часть (II) - зона возмущения потока - сравнительно короткая. Она располагается, в пределах мостового перехода, в наиболее сжатом сечением транзитного потока.

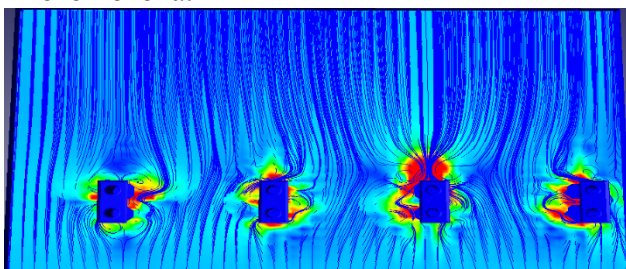


Рисунок 2 – Схема искажения водного потока при подходе к мостовой опоре

В зоне III из-за общего замедления течения в транзитном потоке, наблюдается уменьшение скоростей течения.

Для анализа влияния конфигураций опор на возникновение неправильных течений были построены «идеализированная» 3D модель русла с постоянной шириной 560м и глубиной 3м, а также модели опор. Размеры опор приняты из типовых проектов. Анализ проводился на базе программного комплекса FlowVision.

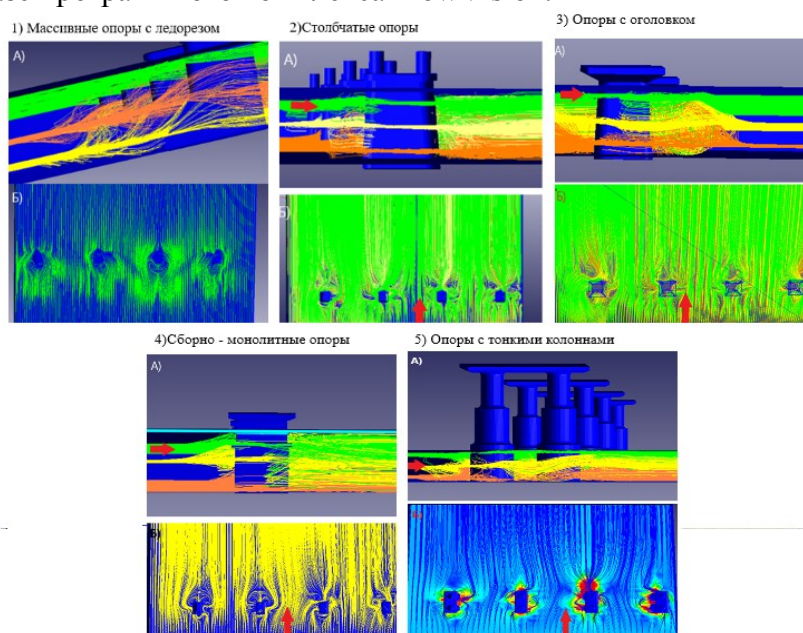


Рисунок 3 - Распределение течений у мостового перехода  
А) Вид с боку; Б) Вид сверху

Наглядные результаты программного комплекса для массивных опор с ледорезом (рисунок 3, элемент 1) показали, что на участке образовались зоны турбулентности. Водный поток сталкиваясь к опорам моста начинает перемешиваться. Струи находящиеся на глубине 0,6 и 0,8 от общей глубины участка, отталкиваясь от ледореза поднимаются вверх, вызывая искривление водной поверхности. Пройдя мостовой створ, поток начинает

взаимодействовать с массами воды, расположенными ниже сооружения. Это вызывает интенсивный турбулентный обмен. Пройдя зону возмущения, поток вновь успокаивается, скорости падают, а зоны завихрений исчезают.

В случае столбчатых опор (рисунок 3, элемент 2), в турбулентном обмене участвуют все 3 рассматриваемые водные слои. По результатам программного прослеживается ярко выраженный перекоп водной поверхности на глубине  $0,3T$  (где  $T$  – глубина в расчетном сечении). Водный поток, проходя зону возмущения, за счет турбулентного обмена, повышает свою отметку. Так образуется первоначальный подпор. По мере увеличения турбулентного обмена, транзитные скорости уменьшаются, а отметки свободной поверхности воды повышаются. В результате образуется обратный уклон воды, под влиянием которого образуется обратное движение потока. Образовавшийся спиралевидный поток затрудняет судоходство и размывает дно.

На рисунке с опорами-оголовками (рисунок 3, элемент 3) наглядно просматривается образование водной воронки как до мостового перехода, так и ниже него. При обтекании потоком опор происходит кинематическое нарушение структуры водного потока. Сбоку от опоры скорости возрастают в 2 раза, а ударяющий в опору поток разбивается на разнонаправленные струи. Поднявшиеся струи образуют подпор ниже моста. В отличие от столбчатых опор, опоры с оголовков имеют наибольшую по протяженности турбулентную зоны. Это объясняется уклоном опор (1:40), который вызвал наибольшее отклонение водного потока.

Результаты программного комплекса, для сборно-монолитных опор (рисунок 3, элемент 4), показали образование зон турбулентности в нижнем бьефе и перепад уровней водной поверхности. Модель с таким видом геометрической конфигураций не имеет столь сильных завихрения, в отличие от столбчатых и опор с оголовком. Перемешивание водных масс происходит равномерно, без ярко выраженных завихрений. Однако успокоение уровней, после прохождения моста происходит чуть дольше, чем у остальных.

Как и в предыдущей модели, результаты программного комплекса не выявили сильных завихрений у опор с тонкими колоннами (рисунок 3, элемент 5). Благодаря возможности прохождения водных потоков в пространство между опорами, энергия турбулентности гасится. Ярких возмущений (зон завихрений) ниже мостового перехода практически не наблюдается.

Выпор водной поверхности происходит равномерно, без резких скачков, а перемешивание водных потоков на разных уровнях практически не наблюдается. При таком виде строения мостовых опор, поток принимает волнообразный синусоидальный характер.

Таким образом, наилучший результат наблюдается при строительстве опор с тонкими колоннами и опор с массивным с ледорезом. При взаимодействии с потоком они не вызывают сильных завихрений, а выпор водной поверхности в нижнем бьефе минимален.

Наибольшие зоны турбулентности наблюдаются у опор с оголовком. При прохождении по участку с таким типом опор, суда будут ощущать на себе значительные водоворотные усилия и частично затяжные, которые могут привести к навалу судна на опору моста.

Описанный детерминированный подход, основанный на геометрии, не учитывает всех аспектов русла (изменение глубин, расходов, ширины). Однако он позволяет проследить весь цикл зарождения и формирования неправильных течений у мостового переходов без влияния на него различных изменчивых факторов. Такой подход упрощает многочасовой ручной расчет при исследовании поведения неправильных течений в районе будущих мостовых переходов и является неплохой альтернативой в оценке безопасности.

### Список литературы

1. Атлас карт реки единой глубоководной системы европейской части РФ Волга ГлавВодпуть БУП. 2014г
2. Атлас карт реки единой глубоководной системы европейской части РФ Ока ГлавВодпуть БУП. 2014г
3. Гришанин, К. В. Водные пути [Текст] / К.В. Гришанин, В.В. Дегтярев, В.М. Селезнев. – М.: Транспорт, 1986. – 400 с.
4. Серебряков, А. В. Организация и планирование путевых и строительных работ на речном транспорте: учебник [Текст] / А. В. Серебряков, А. М. Бутылин, А. П. Морозов. – М.: Транспорт, 1986.
5. Методы определения расхода [Электронный ресурс].  
<https://studfile.net/preview/2890411/page:5>
6. Hydrology: An Introduction 1st Edition, Kindle Edition Publisher: Cambridge University Press; 1 edition (August 11, 2005)

### THE INFLUENCE OF SUPPORT CONFIGURATIONS ON THE OCCURRENCE OF IRREGULAR FLOWS

*Ekaterina M. Kuprina, Yulia E. Voronina*

*Abstract.* The article presents a study of the influence of support configurations on the occurrence of irregular currents. As an example of the influence, 5 types of supports are given: 1) Massive supports with an ice cutter; 2) Columnar supports; 3) Prefabricated monolithic supports; 4) Supports with a head; 5) Supports with thin columns. At the end of the article, a conclusion is made.

*Keywords:* bridge supports, turbulence, irregular flows, statistics, jets, model, flow, swirl.